

УДК 528.16:681.3

**О. В. Кравченко**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОПОРНЫХ ПУНКТОВ  
ПОД ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЯ ОДНОЧАСТОТНОЙ СПУТНИКОВОЙ  
АППАРАТУРОЙ TRIMBLE R3**

В статье рассмотрены вопросы координирования опорных пунктов одночастотной спутниковой аппаратурой Trimble R3 под пологом древостоя. Исследована зависимость точности определения местоположения от продолжительности времени измерений в режиме «Быстрая статика», выполнена камеральная обработка результатов полевых измерений, проведен анализ данных с оценкой точности определения местоположения пунктов, выявлены факторы и степень их влияния на точность спутниковых измерений.

In article questions of coordination of strong points by unifrequent satellite equipment Trimble R3 under forest stand bed curtains are considered. It is investigated dependences of accuracy of definition of a site on duration of time of measurements in a mode «Fast statics», processing of results of field measurements is executed, is spent the analysis of results with an estimation of accuracy of definition of a site, factors and degree of their influence on accuracy of satellite measurements are revealed.

**Введение.** Развитие космической геодезии приводит к все более активному внедрению глобальных систем спутникового позиционирования (GPS) в различные сферы деятельности человека, в том числе и в лесное хозяйство. Несомненно, использование GPS-оборудования автоматизирует процесс сбора и обработки информации, позволяет выполнять наблюдения в любую погоду, получать координаты геодезических пунктов в реальном масштабе времени и др.

Однако применение GPS-оборудования при работе под пологом древостоя имеет свои особенности, затрудняющие прохождение сигналов от спутников до GPS-приемников, что отрицательно сказывается на точности позиционирования. Поэтому использование спутниковых приемников для целей лесного хозяйства требует изучения целого ряда вопросов, в том числе точности определения координат пунктов при различных режимах спутниковых определений.

**Основная часть.** В данной статье рассмотрены вопросы координирования опорных пунктов одночастотной спутниковой аппаратурой Trimble R3 под пологом древостоя в режиме «Быстрая статика» с оценкой точности полученных результатов.

Основными задачами исследований являются:

- анализ зависимости точности определения местоположения от продолжительности времени измерений в режиме «Быстрая статика»;
- проведение анализа результатов статических измерений с оценкой точности определения местоположения;
- выявление факторов и степени их влияния на точность спутниковых измерений.

Для осуществления исследований была спроектирована геодезическая сеть на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза, которую можно отнести к локальным сетям [1–3].

Используемый для геодезических измерений комплект одночастотной спутниковой аппаратуры Trimble R3 включает: объединенные в одном корпусе приемник GPS Trimble R3 и полевой контроллер Trimble Recon, а также антенну Trimble A3.

Для управления GPS-системой Trimble R3 используется полевая программа Trimble Digital FieldBook [4]. Результаты съемки сохраняются в отдельном job-файле для передачи и постобработки на ПК.

Рабочие установки (миссии) были сформированы в контроллере в камеральных условиях перед выездом на полевые работы. Минимальный угол отсечки был выбран  $15^\circ$ , минимальное число спутников – 4.

Работа выполнялась лучевым методом.

Для повышения точности и надежности результатов спутниковых измерений в процессе постобработки были выбраны две базовые станции, которые работали постоянно в течение всего периода наблюдений. Другие станции перемещались между определяемыми пунктами согласно программе наблюдений.

Для обработки результатов спутниковых измерений использовали руссифицированное программное обеспечение Trimble Geomatics Office (TGO), в основе которого лежит алгоритм Wave, разработанный Дельфийским университетом на базе Lambda-метода [5].

Данный метод предназначен для высокоточного вычисления пространственного вектора по биениям фазнесущих частот.

Для работы Wave-алгоритма требуются одновременные измерения двумя приемниками, причем каждый из них должен наблюдать одноименное созвездие спутников. Кроме того, необходимо, как минимум, четыре спутника. При фиксированной длине базовой линии по-

грешность определения длины вектора составляет несколько миллиметров [6, 7]. Для этих целей в TGO используется модуль «GPS-обработка базовых линий».

На первом этапе исследовалась зависимость точности определения местоположения от продолжительности времени измерений в режиме «Быстрая статика». Измерения выполнялись на относительно открытой местности с удаленностью от базовой станции порядка 1 км. Продолжительность наблюдений составляла от 30 до 60 мин (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительная оценка точности измерений в режиме «Быстрая статика»**

№ сеанса	Продолжительность наблюдений, мин	Точность положения пунктов, м	
		$m_x$	$m_y$
1	30	0,214	0,483
2	40	0,212	0,480
3	50	0,212	0,481
4	60	0,210	0,479

Результаты оценки точности измерений, приведенные в табл. 1, показывают, что средние квадратические погрешности положения пункта по осям координат ( $m_x$ ,  $m_y$ ) в заданном режиме наблюдений практически не зависят от времени наблюдения.

На втором этапе выполнен анализ результатов обработки спутниковых измерений в TGO. Несмотря на то, что перед выполнением полевых работ был получен альманах и определены лучшие «окна» для спутниковых измерений на территории учебного полигона, а сами измерения выполнялись в течение достаточного периода времени, залесенность территории затрудняет прохождение сигналов от спутников.

При использовании одночастотных приемников значение поправки за искажения сигналов в верхних слоях ионосферы вычисляется приемником в момент измерений и учитывается им же при вычислении псевдодальностей до спутников.

Для того чтобы отсеять измерения от неблагоприятных спутников, в полевых условиях использовали маску возвышениям в  $15^\circ$ . Если спутник находился ниже области, которую отсекает маска возвышения, сигналы с такого спутника не принимались.

В камеральных условиях был выполнен анализ отчета по обработке базовых линий, который позволил определить помехи при приеме сигнала от спутника и исключить часть данных по спутнику за тот период времени, в который возникали помехи. После чего повторно выполнена обработка базовых линий [8, 9].

Результаты оценки точности положения пунктов до корректировки данных со спутников и после такой корректировки представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты оценки точности, м**

Пункты	До удаления проблемных данных		После удаления проблемных данных	
	$m_x$	$m_y$	$m_x$	$m_y$
25	0,197	0,480	0,036	0,025
35	0,205	0,481	0,091	0,053
12	0,211	0,484	0,137	0,113
9	1,022	2,948	0,153	0,119
32	0,201	0,481	0,064	0,043
34	0,198	0,480	0,040	0,028
33	0,418	0,850	0,062	0,044
6	1,415	2,885	0,112	0,067
31	0,546	1,892	0,111	0,059
28	0,700	1,617	0,122	0,096
29	0,215	0,485	0,153	0,115

Как свидетельствуют данные табл. 2, в процессе постобработки базовых линий необходимо анализировать данные со спутников, при необходимости исключать спутники или часть данных по спутникам из рассмотрения за тот период времени, в который сигналы от спутников были особенно слабыми, а также исключать проблемные базовые линии из сети уравнивания [8]. Это значительно улучшает результаты обработки, позволяет получать фиксированные решения по базовым линиям, повышает точность определения положения пунктов в плане в среднем в 4–5 раз.

Необходимо отметить, что если в обработке оставить данные по четырем или даже по пяти спутникам, то такая базовая линия может получить только плавающее решение. Для получения фиксированного решения по базовой линии нужны данные, как минимум, от шести спутников.

Также в процессе обработки результатов спутниковых измерений исследовалось влияние на точность получаемых результатов таких факторов, как величина угла отсечки, высота антенны (табл. 3).

Как свидетельствуют данные исследований (табл. 3), изменение угла отсечки спутников существенного влияния на точность спутниковых измерений не имеет. При выполнении спутниковых измерений рекомендуется наблюдать спутники, возвышение которых над горизонтом составляет не менее  $15^\circ$ .

Погрешности, допущенные при записи высоты антенны, могут искажать точность полученных результатов в разы (так, искажение высоты на каждые 0,2 м увеличивает погреш-

ность положения пункта в 2 раза). Поэтому следует проверять полевые записи при импорте данных в TGO.

Таблица 3

**Влияние угла отсечки и высоты антенны на точность измерений**

Пункты	Погрешности положения пунктов, м			
	изменение угла отсечки на 15°		изменение высоты антенны на 0,2 м	
	$m_x$	$m_y$	$m_x$	$m_y$
25	0,037	0,026	0,071	0,050
35	0,091	0,053	0,176	0,104
12	0,138	0,113	0,267	0,220
9	0,154	0,120	0,299	0,233
32	0,065	0,044	0,124	0,085
34	0,041	0,028	0,078	0,054
33	0,063	0,044	0,120	0,085
6	0,113	0,067	0,219	0,132
31	0,112	0,059	0,217	0,115
28	0,122	0,097	0,238	0,188
29	0,153	0,116	0,293	0,223

Увеличение количества связей на пункте повышает точность определения положения пунктов, поэтому при проектировании сети необходимо создавать небольшие замкнутые фигуры из двух и более базовых линий.

Удаленность от базовой станции увеличивает погрешность определения координат пункта. Для одночастотных приемников максимально допустимое расстояние между базовым и подвижным приемником в режиме «Быстрая статика» составляет 15 км при времени стояния 40–60 мин в зависимости от условий наблюдения.

**Выводы.** Таким образом, анализ данных постобработки и полученные погрешности определения положения координат пунктов одночастотными приемниками Trimble R3 показали, что основными факторами, влияющими на точность спутниковых измерений при съемке лесных площадей, являются:

- количество наблюдаемых спутников над каждым определяемым пунктом (должно быть не менее шести);

- устойчивый прием сигналов от спутников на протяжении всего периода измерений (для этого перед выполнением полевых работ необ-

ходимо получать альманах и определять лучшие «окна» для спутниковых измерений);

- исключение данных со спутников при плохом приеме сигналов во время постобработки увеличивает точность определения координат в 4–5 раз;

- искажение высоты антенны приемника вызывает значительные искажения в точности определения координат;

- наличие избыточных измерений.

При определении координат опорных пунктов под пологом древостоя спутниковыми методами нет существенных ограничений. При учете изложенных выше факторов и рекомендаций на стадии планирования спутниковых измерений и постобработки координаты пунктов можно получить с точностью порядка 0,10–0,15 м в плане.

### Литература

1. Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – М.: Картгеоцентр, 1999. – 272 с.
2. Hofmann-Wellenhof, B. Global Positioning System: Theorie and Praxis / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins. – Springer; Wien; New York, 1992. – 306 p.
3. SKI-Static Kinematic Software. User manual. Wold GPS-System 200. – Heerburgg; Switzerland, 1992. – 345 p.
4. Trimble Digital fieldbook. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2005. – 90 p.
5. Trimble Geomatics Office. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2001. – 144 p.
6. Wave Baseline Processing. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2001. – 84 p.
7. Network Adjustment. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2001. – 113 p.
8. Кравченко, О. В. Сравнительный анализ точности определения положения пунктов спутниковым приемником Trimble R3 / О. В. Кравченко, С. Н. Кандыбо // Вестник БГСХА. – № 2. – 2009. С. 116–118.
9. Кравченко, О. В. Применение комплекта спутниковой аппаратуры Trimble R3 при определении местоположения пунктов / О. В. Кравченко // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. – Вып. XVIII. – 2010. – С. 40–43.

Поступила 17.02.2012